

加減速を伴う捕捉行為時の幼児のタイミング特性

Characteristics of timing during interceptive action under acceleration and deceleration condition for children

杉 山 真 人*・宮 辻 和 貴*・荒 木 雅 信**

Masato SUGIYAMA, Kazuki MIYATSUJI, Masanobu ARAKI

要 旨

本研究の目的は加減速を伴うターゲットの捕捉課題における幼児のタイミング調節の特性を成人被験者との比較により明らかにすることを目的とした。被験者は月齢48カ月から71カ月までの幼児6名及び成人被験者2名であった。被験者の課題はスタート地点から捕捉地点へ移動するとともに、ターゲットの到達と自身の移動完了をできるだけ正確に一致させることであった。被験者側方2カ所から撮影された試技映像をもとに頭頂と右手甲の座標位置をデジタイズし、DLT法により3次元座標値を算出した。このデータを元に、頭頂の速度、被験者の移動距離及び到達地点に対するターゲットと右手の誤差を算出した。主要な結果は、低年齢児ではターゲットの移動に引き寄せられるような移動軌道を示し、ターゲットへの引き込み現象が確認された。この現象は速度条件が低速になるとともに顕著となった。なお、発達に伴ってターゲットへの引き込みが消失した。また、幼児の頭頂の速度の最大値が出現する時期と反応の正確性の関係性について検討した結果、頭頂速度の最大値の出現が早いほど尚早の反応を示し、遅いほど反応の遅延が見られた。そして、被験者の移動開始地点から到達地点までの所要時間のおおよそ70%近傍で速度の最大値が出現した時に、最も反応の正確性が高くなった。以上のことから、幼児の被験者は成人被験者と比較して、自身の動作の時空間的な調節が不十分であり、ターゲットと自身の協応動作が未熟であるが発達に伴って改善することが明らかになった。また、幼児においても速度の最大値の出現時期を検討することで最適なタイミング調節が遂行できる可能性が示唆された。

キーワード：幼児、捕捉行為、タイミング

1. はじめに

野球の外野手がフライボールをキャッチしようとする場合、ターゲット（ここでは打者が打ったボール）の動きを視覚的に捉えるとともに、ボールが落下するであろう地点に移動し、落下してくるターゲットを捕捉（ボールのキャッチ）することが求められる。また、幼児の運動遊びとし

て鬼ごっこの一側面を考えると、鬼はターゲット（鬼ではない子ども）の移動を予測しながら捕捉する（捕まえる、あるいはタッチする）という場面が見受けられる。このようなスポーツや運動場面ではしばしば見受けられる行為は捕捉行為（Interceptive action）と呼ばれ、移動する対象物に対して自身の身体を時空間的に一致させる行

* 神戸親和女子大学

** 大阪体育大学

為のことを指す。

このように多くのスポーツ場面で要求される捕捉行為を適切に遂行する場合に必要なのがタイミング能力であり多くの研究が行われている (Michaelles & Oudejans, 1992など)。このようなタイミング能力に関する研究は、速度見越し (井篁ら, 1985) や効果器見越し (橋本, 2012) によって一致タイミングを検討したものなど方法論的には幅広く検討されているものの、発達の変化と関連付けた研究については十分に検討されているとはいえない。Sugiyama (2014) は幼児を対象として、幼児のボール捕球課題におけるタイミング調節を時間的側面から検討した。しかし、そのタイミング及び捕球能力の特性については十分に明らかにされてはいない。

昨今、外部の対象物に対して運動実行者自身の反応を一致させるために有効であるとされるベアリングアングル (Bearing Angle) 方略などに関する研究 (Chohan et al, 2008; Lenoir et al, 1999; McLeod & Dienes, 1996) が盛んに行われており、タイミング調節の特性が徐々に明らかになってきている。しかしこれらの先行研究は、被験者のタイミングを時間的側面から捉えたものである。タイミングとは反応のためのもっとも有効な時間条件を作り出すこととされるため、被験者の反応に関する時間に焦点を当てることは妥当であるといえる。他方で、被験者は捕捉行為においてタイミング能力を発揮する際、身体各部位の移動の軌道を制御したり、身体が移動する軌道を制御している。つまり、時間的なタイミング調節だけではなく、空間的な調節も同時に行っていると考えられる。このことから、時間的側面から検討するのみではタイミング調節の特性を明らかにするには限界があるといえ、時間的な側面と空間的な側面の両方を捉えた上でタイミング調節について検討する必要がある。

また、スポーツや運動遊びの場面において、ボール等の捕捉すべきターゲットは一定の速度で移動しているわけではなく、加速や減速を通して速度変化が生じている。この加速や減速というター

ゲットの変化に対するタイミング調節に関して、上述のベアリングアングル方略の側面から検討した研究が行われている (水落ら, 2010)。しかし、成人を対象とした研究であり、幼児に焦点を当てた発達の変化について検討したものではない。

以上のことから、本研究では加速及び減速を伴うターゲットの捕捉課題を用いるとともに成人被験者と比較することによって幼児のタイミング調節の特性を明らかにすることを目的とする。

2. 方 法

2. 1 被験者

被験者は月齢48カ月から71カ月までの幼児6名 (男児1名、女児5名) 及び成人被験者2名の合計8名であった。幼児の被験者については幼児の保護者に事前に同意書への署名により実験参加への同意を得た。成人被験者については本人から同意書を得た。なお、本研究では個人差の大きい幼児の反応特性をより詳細に検討する試みであるため、年齢群は設けず月齢によって分析を行うこととした。

2. 2 実験装置

図1に本研究で用いた実験装置を示した。被験者正面前方に透過型スクリーン (縦1.5m×横4m) を設置し、スクリーンを挟んで被験者の反対方向にプロジェクターを設置した。そしてプロジェクターからターゲットとなる光刺激を投射する仕組みであった。

2. 3 実験課題

被験者はターゲットを視覚的に追従し、スタート地点から捕捉地点へ移動するとともに、ターゲットの到達と自身の移動完了をできるだけ正確に一致させることを求められた。

2. 4 手続き

まず、被験者はターゲットに向かってスタート地点に立ち、ターゲットの移動開始とともに自らも移動を開始した。そして、捕捉地点にターゲットが到達するとともに自身も到達し移動を完了した。被験者の移動完了はスクリーンの到達地点に右手指を接触させた時点とした。スクリーンに接

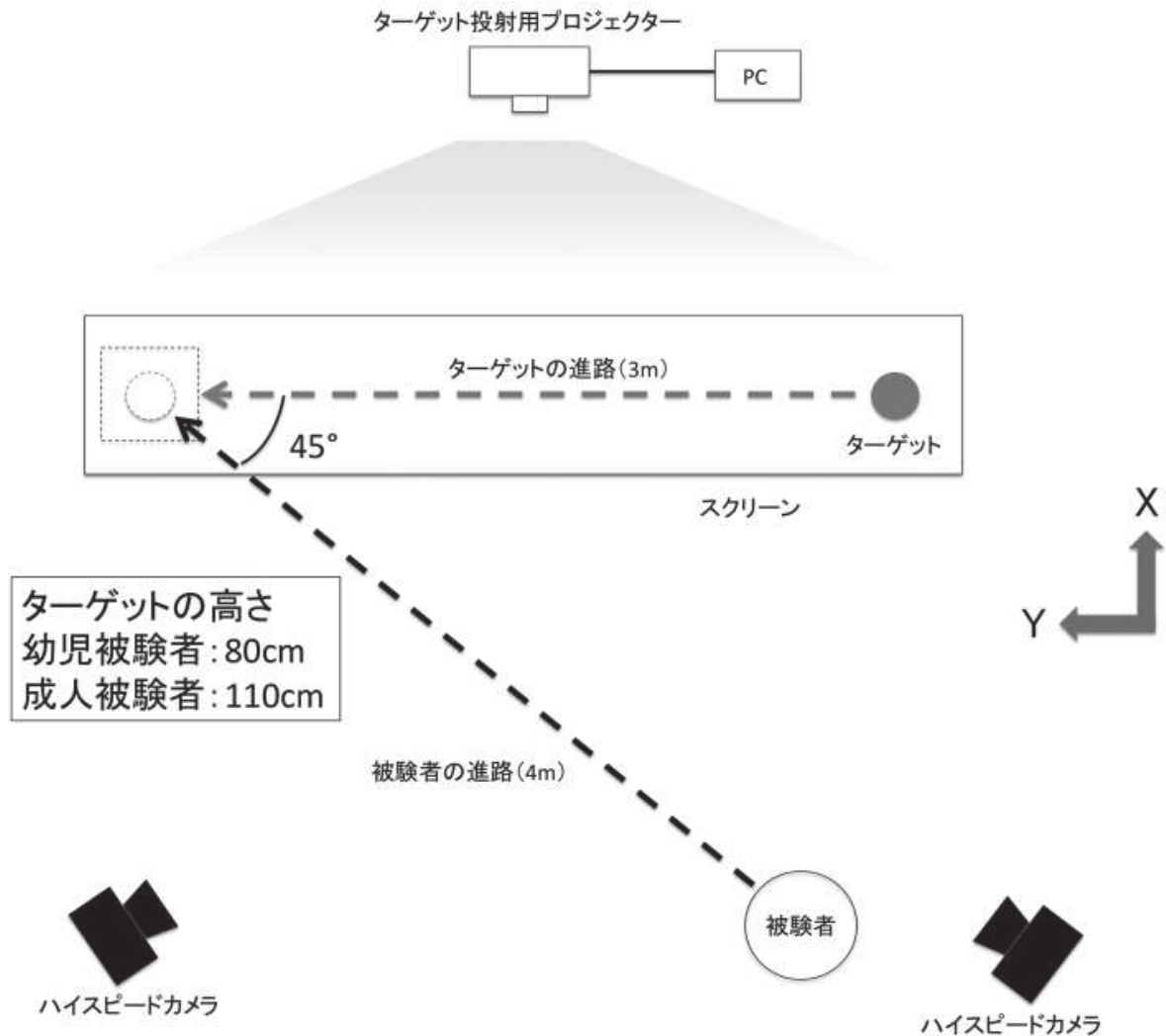


図1 実験装置

触させる身体部位は全被験者で右手指に統一した。被験者の到達局面での動作は単純なリーチング動作である。本研究はリーチングの特徴が一致タイミングに影響する可能性は少ないと判断した。したがって利き手、非利き手の影響は考慮しなかった。

試行数は3つの速度条件（低速、中速、高速）を各3試行、合計9試行実施した。なお、各速度条件はランダムに呈示された。各速度条件でのターゲットの速度変化のパターンは、ターゲットの移動開始後1.5mの位置までに最高速度に達し、その後到達地点まで徐々に減速していくパターンであった。その際の各速度条件の最高速度と平均速度は次の通りであった。すなわち、最高速度：1.60m/s、平均速度：0.83m/s（高速条件）、最高

速度：1.16m/s、平均速度：0.54m/s（中速条件）、最高速度：0.80m/s、平均速度：0.41m/s（低速条件）であった。

2. 5 分析方法

被験者の頭頂、右手甲にカラーマーカを装着した。図1に示したように、被験者側方2カ所からハイスピードカメラ（Panasonic社製 Lumix DMC-FZ200）にて実験試技を撮影した（30Hz）。そして撮影された映像をもとに動作解析ソフト（DKH社製 Frame-DIAS V）を用いて頭頂と右手甲の座標位置をデジタイズした。これにより得られた2次元座標値からDLT法によって3次元座標値を算出し、3点過重移動平均法（6Hz）を用いて平滑処理を行った。

3. 結果

3. 1 X-Y 平面上の軌道

図2は被験者の頭頂の軌道をX-Y平面上にプロットしたものである。ここでは発達的变化に沿って代表的な3名の被験者の移動軌道を呈示している。これを見ると、低年齢児ほど、また低速条件になるほど大きな軌道の変化を示した。すな

わち低年齢児ほどターゲットの移動に自身の移動が引き込まれていることが伺える。その一方で低年齢児の高速条件ではターゲットの移動に自身の移動軌道が拘束されている。発達的变化に伴って直線的な移動の軌道を示し、しかも異なる速度条件においても軌道の変化はさほど見られなかった。

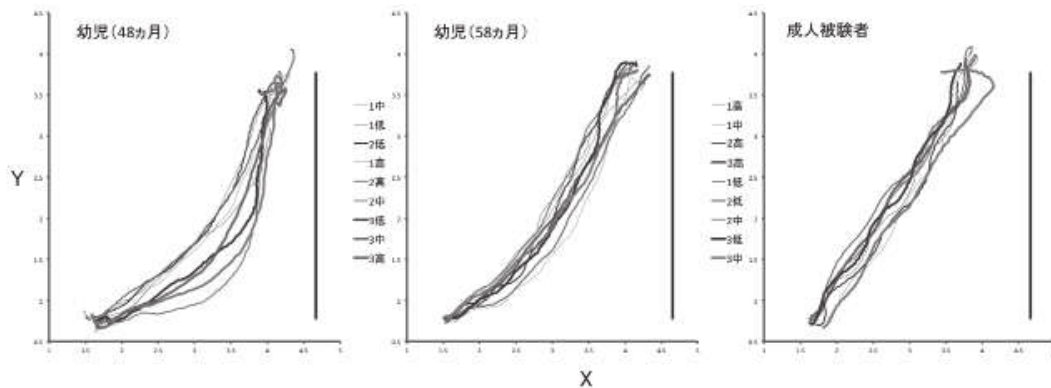


図2 頭頂のX-Y平面（一例）

図は左から月齢48ヵ月、58ヵ月、成人被験者の頭頂の軌道を示している。X軸に垂直に示されている黒色のバーはターゲット投射用のスクリーンの位置を示している。凡例の数字は試行回数（1試行目、2試行目、3試行目）、文字は速度条件（低速、中速、高速）を示している。例えば、1低の場合には低速条件の1試行目の軌道を意味している。

3. 2 速度条件別の移動距離

X-Y平面上の移動軌道には発達的变化及び速度条件によってその特徴が伺えたが、速度条件が軌道の変化に与える影響を明らかにするために、各速度条件間の被験者の移動開始から移動完了までの総移動距離を算出し、対応のある一要因分散分析を行った（図3）。その結果、低速条件と高速条件、中速条件の間で有意差が認められた（ $F(2,14) = 6.20, p < 0.05$ ）。高速条件と中速条件の間には有意差は認められなかった。この結果は

X-Y平面上の軌道が速度条件によって変化することを裏づけるものである。

3. 3 反応の正確性と速度変化の関係

まず、図4は各速度条件における頭頂の速度曲線を示している。横軸はターゲットの移動開始から到達までの実時間を示している。ここでは発達的变化に沿って代表的な3名の被験者の速度曲線を呈示している。高速条件においては成人被験者及び58ヵ月の幼児は移動の開始は類似しているが48ヵ月の幼児ではそれに比して大幅に移動開始が遅れている。他方、被験者の移動の後半部分では発達的变化に伴って速度低下の開始が早くなる傾向を示した。中速条件では成人被験者は低速で移動していたのに対し、幼児では移動速度が増大する傾向を示した。ただし、ターゲットに対する遅延や尚早といった傾向は発達の側面からは違いが見られなかった。低速条件では、成人被験者と58ヵ月の幼児では移動の開始直後の速度に違いがあるものの、その後のターゲットの捕捉までは類似した速度プロファイルを示した。これに対して48ヵ月の幼児では移動開始直後に大きく速度を増大

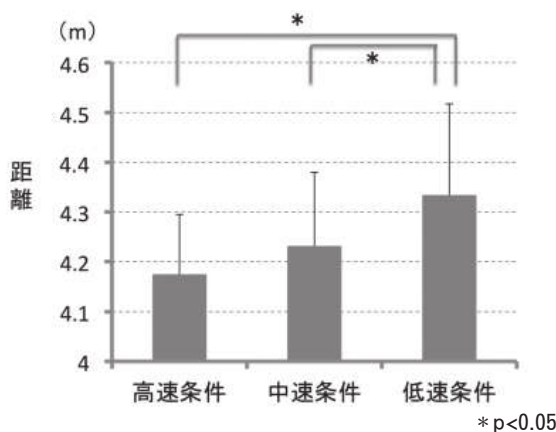


図3 各速度条件における総移動距離

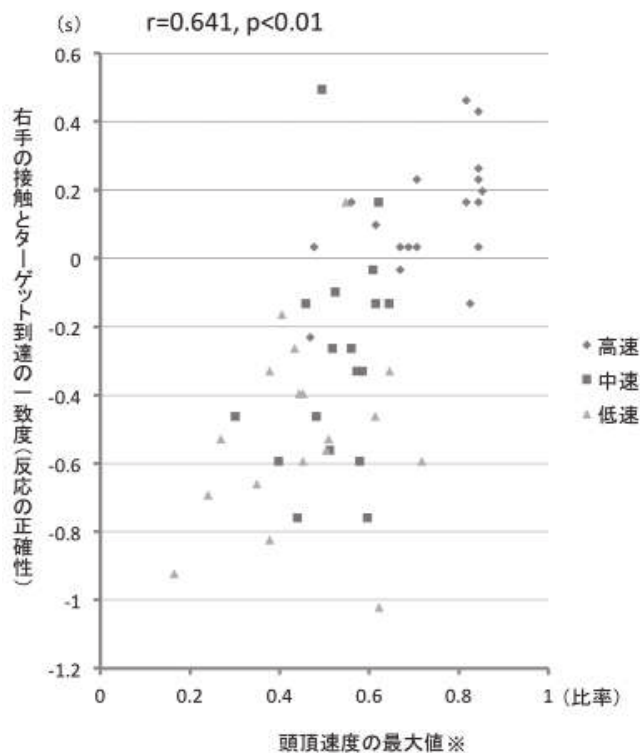
させ、その後捕捉まで速度の増減を繰り返すという不安定な速度プロフィールを示した。以上の結果は発達に応じた頭頂の速度変化の特徴を示したのみにとどまっている。捕捉行為時の幼児のタイミングの特性を明らかにするためには、これらの速度変化が捕捉行為の正確性とどのような関係にあるかを明らかにする必要がある。

そこで頭頂速度と反応の正確性にどのような関係があるかを明らかにするために、次の分析を行った。まず、図4のような速度曲線に基づいて、各被験者の頭頂速度の最大値がどの時点で出現するのかを算出した。その際、速度条件間で比較す

るために横軸の時間を100%規格化した。次に、到達地点に対する右手とターゲットの到達の間の時間差（反応誤差）を算出し、反応の正確性の指標とした。この縦軸は値が0に近ければ近いほど反応の正確性が高いことを意味する。そして、これら反応の正確性と頭頂速度の最大値の出現時期の関係を検討したところ（図5）、2変数間に有意な相関関係が見出された（ $r = 0.641$, $p < 0.01$ ）。この結果は、速度の最大値の出現時期の違いによってターゲットの捕捉の正確性が異なることを意味する。



図4 各速度条件における頭頂の移動速度の一例



※頭頂速度の最大値は各速度条件を比較するために100%規格化した。すなわち0はターゲットの移動開始、1はターゲットの移動完了を意味する。

図5 移動速度の最大値とタイミングの正確性の関係（成人被験者除く）

4. 考 察

本研究は加速、減速を伴うターゲットの捕捉課題を用いて、幼児のタイミング調節の特性を明らかにすることを目的とした。

ターゲットに対して時空間的に適切に反応するためには、被験者は到達地点への到達の前にターゲットの視認と歩行を同時並行的に遂行しなければならない。本研究では等速で移動するターゲットに対する反応とは異なり、ターゲット移動初期の加速と到達地点到達前の減速を含んだ課題であった。このことから十分にターゲットの時空間的な位置を把握し、正確に反応することは比較的難しかったと考えられる。

成人被験者は速度条件が異なっても移動軌道に変化が見られなかった。また、移動速度にも著しい変化は見られなかったことからターゲットと協調的な移動を行っていたといえる。この実現のために、成人被験者はターゲット移動の初期にターゲットの移動特性（加速）を適切に知覚していたと考えられる。杉山（2015）は幼児を対象とし、移動するボールの軌道の一部を遮蔽することにより視覚情報を制限された状況下でボールの捕球を行う課題を実施し、その移動時間特性を分析した。その結果、高年齢群は遮蔽の影響を受けず、ボールの移動初期にボールの移動特性を把握していることが示唆された。さらにこの傾向は発達的に向上すると考えられた。このことから、本研究においても成人被験者は、ターゲットの移動初期に、加速を伴うターゲットの移動を知覚していたことが考えられる。その結果、ターゲットと協調的な関係を維持しながら安定した移動及びターゲットへの反応を達成できていたことが推察される。さらにこの関係の維持のためにターゲットの動的な変化という刺激の入力と、移動開始後の再プログラミング（中本・森，2008）が大きな役割を果たしているものと考えられる。ただし、この制御が幼児にも適応できるかどうかは今後の検討課題である。

幼児被験者は、試行間においても試行内においても、ターゲットの変化に適応的に自身の移動を

変化させることが困難であったといえる。ターゲットを効率よく捕捉するためには直線的な移動が有効である。しかし、低年齢児ほど、また低速条件であるほどターゲットへ被験者の移動軌道が引き込まれる傾向にあった。森ら（1993）は転がってくるボールを走って拾いに行くという課題を行い、その際の幼児の移動軌道を検討した。その結果、低年齢児ほどボールの後を追うフィードバックコントロールが見られるが、個人差はあるものの大まかにいって年齢の変化から、ボールの転がる速さを予測してフィードフォワードコントロールに反応のパターンが変化することを示した。本研究においても類似した結果が得られ、発達的な変化に伴って予測能力が高まってくることを裏付けることができると考えられる。この移動軌道の変化が生じる要因としては図2及び図3の結果から、捕捉地点に到達するためにターゲットと協調的な移動を遂行しようとする現れであることが考えられる。より安定してターゲットと協調するためには、ターゲットに接近しつつ移動する方が合理的である。低速条件では時間的制約が小さいためにこの接近が多く出現することが考えられる。これがターゲットへの強制的な引き込みの要因であることが推察される。高速条件ではターゲットと協調しているというよりはターゲットの速度に拘束され、空間的に安定性が確保できないため直線的な移動になることが考えられる。これは時間的な制約が大きく空間的な自由度が低下することを意味する。

図5が示すように、頭頂速度の最大値の出現が早ければ早いほど反応が尚早化し、遅ければ遅いほど反応が遅延することが明らかとなった。そして正確に反応した場合（±0s 近傍）、ターゲットの移動開始からおおよそ70%のあたりに速度の最大値が訪れることが明らかとなった。この速度変化の特性を空間的な軌道の変化と関連付けて議論すると、ターゲットの正確な捕捉のためには、ターゲットとの協調的な関係を維持しつつ、速度の最大値がターゲットの移動開始からおおよそ70%のあたりに出現するような速度調節を行う必要がある

ことが示唆される。

以上のことから、発達の変化に伴って移動速度の安定性が増大すること、ターゲットの正確な捕捉のためには移動速度の最大値の出現時期が影響していることが明らかになった。そして、移動の過程におけるターゲットとの協調的な関係の構築とその維持は、幼児が正確な反応を行う上で重要な役割を果たしていると考えられる。

引用文献

Chohan, A., Verheul, M. H. G., Van Kampen, P. M., Wind, M., & Savelsbergh, G. J. P. (2008) Children's use of the bearing angle in interceptive action. *Journal of Motor Behavior*, 40, 18-28.

橋本晃啓 (2012) 高校生バスケットボール選手における効果器の見越しに関する一致タイミングの正確さーフィールドフォワード制御動作の時間的予測ー 修道法学, 35, 566-552.

井篁敬・山本裕二・中込一郎・工藤敏巳 (1985) 低・高覚醒状態におけるパフォーマンスに及ぼす速度見越しの情報量と時間的要因の影響ー速度見越しを含む的当て課題を主課題として 筑波大学体育科学系紀要, 8, 31-36.

Lenoir, M., Much, E., Janssens, M., Thiery, E., & Uyttenhove, J. (1999) Intercepting moving objects during self-motion. *Journal of Motor Behavior*, 31, 55-67.

McLeod, P., & Dienes, Z. (1996) Do fielders know where to go to catch the ball of only how to get there? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 531-543.

Michaels, C. F., & Oudejans, R. R. D. (1992) The optics and action of catching fly balls; Zeroing out optical acceleration. *Ecological Psychology*, 4, 199-222.

水落洋志・森司朗・中本浩揮・西園秀嗣 (2010) 加速・減速を伴う一致タイミング状況における予測的運動制御に関する研究ーベアリングアン

グルとの関連ー スポーツトレーニング科学, 11, 1-6.

森司朗・杉原隆・近藤充夫 (1993) 転がってくるボールに対する幼児の対応動作に関する研究 スポーツ心理学研究, 20, 29-35.

中本浩揮, 森司朗 (2008) 速度変化状況での一致タイミング課題における野球の熟達と運動修正との関係 体育学研究, 53, 39-50.

Sugiyama, M. (2014) Children's control of their timing when catching a ball. *Asia-South Pacific Association of Sports Psychology 7th International Congress*.

杉山真人 (2015) ボールの軌道の遮蔽が捕球課題遂行中の幼児のタイミングコントロールに与える影響 ジュニアスポーツ教育学科紀要, 3, 21-29.

付記

本研究は JSPS 科学研究費補助金若手研究 (B) (課題番号: 15K16434) の助成を受けて行われたものである。